

米国出願用和文明細書

Title of the Invention 投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置
 A projection optical system and An exposure apparatus
 with same

Background of the Invention**(1) Field of the Invention**

本発明は第1面の像を第2面上に投影する為の投影光学系に関するものである。特に第1面としてのレチクル(マスク)上に形成された半導体用のパターンを第2面としての基板(ウエハ)上に縮小投影露光するのに適した投影光学系および該投影光学系を備えた露光装置に関する。

(2) Background of the Related art

半導体素子を製造する際に、レチクル上のパターンの像を投影光学系を介してレジストが塗布されたウエハ上に転写する投影露光装置が使用されている。転写される半導体集積回路のパターンの微細化が進むに従い、ウエハの焼き付けに用いられる投影光学系には高解像力化が求められている。この要求を満たしていくには露光波長の短波長化、あるいは投影レンズ光学系の高開口数化を進めていく必要がある。

近年においては転写パターンの微細化に対応する為に、露光光源は主としてi線(波長365nm)からKrFエキシマレーザ(波長248nm)が用いられるようになってきており、さらにはArFエキシマレーザ(波長193nm)が用いられようとしている。

近年、特にArFエキシマレーザについては、光学素子を用いてレーザ光源の狭帯域化が進められているが、依然として数 μ m程度の半値幅がある。このような光源を構成硝材の多くが石英である投影光学系的光源として用いると、無視できない量の色収差が発生する。その結果、像のコントラストが低下し、像の劣化の原因となる。

したがって、レーザの狭帯域化が望まれるが、レーザの狭帯域化は狭帯域化素子の時間的劣化等、多くの問題を含み容易でなく、限界がある。そこで、他の硝種を構成レンズに加えることで、色収差を補正することが一般的である。他の硝種としては、蛍石が用いられる。蛍石は、色収差だけでなく、照射変動も抑制することができる。狭帯域化をあまり進めないレーザを光源とし、蛍石を採用して光学系を構成しようとする、その光学系の構成枚数の過半数が蛍石になってしまう。しかしながら、蛍石は高価な上、加工性が悪く、温度変動による面変化が大きく、光学系の性能劣化の一因となっていることが知られている。

Summary of the Invention

そこで、本発明は、狭帯域化のあまり進んでいないレーザ光源を用いた場合でも、設計性能を維持した上で、色収差の補正と照射変動の抑制を良好に行うことを目的とする。

上述の目的を達成するために、本発明の1つの態様にかかる投影光学系は、第1面の像

を第2面上に投影する投影光学系であって、

蛍石で形成されたレンズ成分；

石英で形成されたレンズ成分；

少なくとも1つの蛍石で形成されたレンズ成分を含み、正の屈折力を有する第1

レンズ群；

前記第1レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置されて、負の屈折力を有する第2レンズ群；及び

前記第2レンズ群と前記第2面との間の光路中に配置されて、正の屈折力を有する第3レンズ群；

を含み、

そこにおいて、前記石英で形成されたレンズ成分の枚数を S_{num} とし、前記蛍石で形成されたレンズ成分の枚数を C_{num} とし、前記投影光学系の前記第2面側の開口数を NA とするとき、

$$S_{num} > C_{num} \quad (1)$$

$$NA > 0.75 \quad (2)$$

を満足する。

Brief Description of Drawings

図1は、本発明の第1実施例の投影光学系の光路図である。

図2は本発明の第1実施例の投影光学系の収差図である。

図3は、本発明の第2実施例の投影光学系の光路図である。

図4は、本発明の第2実施例の投影光学系の収差図である。

図5は、本発明の実施の形態に係る投影露光装置の構成図である。

Detailed Description of Preferred Embodiments

上記1つの態様にかかる投影光学系では、正の屈折力を有する第1レンズ群は第1面から射出するテレセントリックな光束を第2レンズ群にリレーすると共に、正の歪曲収差を予め発生させ、これにより第2、第3レンズ群で発生する負の歪曲収差を補正している。そして、負の屈折力を有する第2レンズ群は主にベッツパール和の補正に寄与し、像面の平坦性を実現させている。正の屈折力を有する第3レンズ群は第2レンズ群からリレーした光束を第2面上にテレセントリックに像を投影させ、主に球面収差の発生を極力抑制した状態で結像させる役割を担っている。

ArFレーザに対して石英硝材は吸収やコンパクション等の照射変動が発生する事は知られている。ここで、正の屈折力を有する第1レンズ群に少なくとも1枚以上の蛍石硝材を使用することによって、石英硝材による照射変動の収差劣化を押さえる事ができるようになる。第1レンズ群では、光軸中心を通る光束（パーシャル径）と周辺を通る光束はレンズ面で比較的に離れている為、第1レンズ群で照射変動が発生した場合、コマ収差や投影エリアにおける中心と周辺の差等が顕著になり、収差変動が大きくなる。よって、第

1 レンズ群に蛍石を使用する事により、照射変動による収差劣化を効率よく抑制する事ができる。

条件式(1)は上述の1つの態様にかかる投影光学系の構成に対して必要十分な蛍石使用枚数を規定するものである。本発明の投影光学系の構成によって、レンズ枚数を削減でき、また光学系全体を小型化でき、これにより軸上色収差も比例して小さくなっている。よって、色収差が軽減されるので、蛍石の使用枚数が少なくなり、上述の1つの態様にかかる投影光学系では設計性能を従来の投影光学系同様に維持する事ができるようになる。

条件式(2)は上述の1つの態様にかかる投影光学系の構成によって達成できる開口数を規定するものである。光学系全体が小型化した事により正の屈折力を有する第3レンズ群の屈折力パワーが強くなり、条件式(2)の高開口数の投影光学系が実現できる。その際に、諸収差を維持しつつ、さらなる光学系の小型化を図る為には負の屈折力を有する第2レンズ群内に少なくとも1面以上の非球面を有する事が望ましい。また、条件式(2)の下限を越えると、第3レンズ群のパワーは弱まり、投影光学系全体が大型化し、それに比例し色収差も悪化してしまう。

上述の1つの態様にかかる投影光学系において、前記第1レンズ群中の前記蛍石で形成されたレンズ成分のうちの少なくとも1つのレンズ成分は、正の屈折力を有すること事が望ましい。上述のように第1レンズ群の構成上、第1レンズ群に起因するコマ収差や投影エリアにおける中心と周辺の差等、照射変動による収差劣化の影響は他のレンズ群に起因するものより大きい。特に、凸レンズでは硝材を通過する光路長は、周辺光束に比べ光軸中心を通る光束の方がより長く、よって硝材の照射変動の影響を受けやすい。このように、照射変動による収差変動を効率よく制御するという点で蛍石硝材は正の屈折力を有するレンズに使用する事が望ましい。また、石英との屈折率差によって色消しをするという点から見ても、蛍石硝材は正の屈折力を有するレンズに使用する事が望ましい。

また、上述の1つの態様にかかる投影光学系においては、前記第3レンズ群は、少なくとも1つの前記蛍石で形成されたレンズ成分を有することが好ましい。第2レンズ群によって発散した光束が第3レンズ群によって収束してゆく為、第3レンズ群の各レンズは照射エネルギー密度が高くなる。この事が照射変動の1種であるコンパクションの発生原因となる。第3レンズ群に蛍石硝材を使用すれば、このコンパクションの影響を軽減させる効果が得られる。さらに、蛍石硝材を照射エネルギー密度が集中する面上近くの厚みのある硝材に使用すれば、より効率よくコンパクションを補正できる。

上述の1つの態様にかかる投影光学系においては、前記第1面から前記第2面までの距離をLとし、前記第1面から前記第1レンズ群の最も前記第2面側のレンズ面までの距離をL1とし、前記第2レンズ群の焦点距離をf2とするとき、

$$0.2 < L1/L < 0.5 \quad (3)$$

$$0.03 < -f2/L < 0.10 \quad (4)$$

を満足することが望ましい。

条件式(3)は全系に対する第1レンズ群の適正な正の屈折力を規定したものである。条件式(3)の上限値を越えると第2レンズ群で発生する負の歪曲収差を補正できなくなる。条件式(3)の下限値を越えると高次の正の歪曲収差を発生させる原因となり好まし

くない。

条件式(4)は全系に対する第2レンズ群の適正な負の屈折力を規定したものである。条件式(4)の上限値を越えるとベッツパール和の補正が不十分となり像面の平坦性の劣化を招く。条件式(4)の下限値を越えると高次の球面収差の発生を招き、像のコントラスト劣化の原因となる。

上述の1つの態様にかかる投影光学系においては、前記第1レンズ群は、少なくとも1つの非球面形状のレンズ面を有することが好ましい。これにより、さらに良好に歪曲収差を補正することができる。

上述の1つの態様にかかる投影光学系においては、前記投影光学系を構成するレンズ群は、前記第1レンズ群、前記第2レンズ群、前記第3レンズ群のみであるよう構成してもよい。

上述の1つの態様にかかる投影光学系においては、前記投影光学系は、200nm以下の中心波長を有する光に対して最適化されているよう構成してもよい。

以下、図面に基づいて本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、以下の説明及び添付図面において、略同一の機能及び構成を有する構成要素については、同一符号を付すことにより、重複説明を省略する。

(第1実施例)

図1は、本発明の第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。本実施例の投影光学系は、硝材として石英 SiO_2 及び蛍石 CaF_2 を使用しており、第1面としてのレチクルRの像を第2面としてのウエハW上にテレセントリックに投影する。この投影光学系は、レチクルR側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、負の屈折力を有する第2レンズ群G2、正の屈折力を有する第3レンズ群G3からなる構成となっている。第1レンズ群G1は、蛍石で形成された正の屈折力を有するレンズLP11を含み、また、非球面形状のレンズ面ASP11、ASP12を含む。第3レンズ群G3は、蛍石で形成されたレンズLP12、LP13、LP14、LP15を含む。開口絞りASは第3レンズ群G3中に配置されている。この投影光学系の基準波長は193.3nmである。

第1実施例にかかる投影光学系の諸元値を表1に示す。また、各非球面における非球面係数を表2に示す。非球面は、光軸に垂直な方向の高さをyとし、非球面の頂点における接平面から高さyにおける非球面上の位置までの光軸に沿った距離(サグ量)をZとし、頂点曲率半径をrとし、円錐係数をKとし、n次の非球面係数をA~Fとしたとき、以下の数式で表される。

$$Z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1+K) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] + A \cdot y^4 + B \cdot y^6 + C \cdot y^8 + D \cdot y^{10} + E \cdot y^{12} + F \cdot y^{14}$$

ここで、本実施例の諸元値における曲率半径、面間隔の単位の一例としてmmを用いることができる。波長193.3nmにおける各硝材の屈折率を以下に示す。

SiO_2 1.5603261

CaF_2 1.5014548

[表1]

面番号	曲率半径	面間隔	硝材
		56.57	
1	388.465	23.27	SiO2
2	177.000	42.53	
3	-120.028	15.00	SiO2
4	-752.332	16.54	
5	-193.722	44.12	SiO2
6	-192.988	1.00	
7	-799.710	42.35	SiO2
8	-240.979	1.00	
9	666.130	51.12	SiO2
10	-543.380	1.00	
11	299.996	49.64	SiO2
12	INFINITY	1.00	
13	276.988	35.60	SiO2
14	991.456	1.00	
15	252.935	30.34	CaF2
16	574.560	30.59	
17	687.760	19.37	SiO2
18	143.863	30.27	
19	-399.976	15.00	SiO2
20	170.000	87.67	
21	-128.314	26.18	SiO2
22	804.730	21.59	
23	-570.040	51.47	SiO2
24	950.000	10.24	
25	INFINITY	35.89	CaF2
26	-250.424	1.02	
27	INFINITY	41.69	CaF2
28	-262.448	13.09	
29	290.060	56.21	SiO2
30	1757.000	26.96	
31	INFINITY	15.03	SiO2
32	276.988	34.69	
33	533.910	48.23	SiO2
34	-471.548	15.61	
35	INFINITY	32.96	SiO2
36	-490.708	2.60	
37	199.138	42.55	SiO2
38	439.306	3.65	
39	170.020	49.30	SiO2
40	300.000	1.66	
41	154.428	45.93	CaF2
42	522.270	5.77	
43	INFINITY	60.00	CaF2
44	1687.460	11.35	

[表 2]
非球面係数

2 面

K : 0.000000
A : -0.106010E-06 B : 0.204228E-11 C : -0.588237E-16
D : 0.112269E-20

14 面

K : 0.000000
A : 0.417491E-08 B : 0.514111E-13 C : -0.666592E-18
D : 0.141913E-22

20 面

K : 0.000000
A : 0.166854E-07 B : 0.370389E-12 C : -0.138273E-16
D : -0.304113E-20

24 面

K : 0.000000
A : 0.361963E-07 B : -0.679214E-12 C : -0.128267E-16
D : 0.908964E-21 E : -0.121007E-25

40 面

K : 0.000000
A : -0.179608E-07 B : 0.149941E-12 C : -0.128914E-17
D : -0.506694E-21 E : 0.204017E-25 F : -0.730011E-30

条件式対応値は以下のとおりである。

Snum=17, Cnum=5

NA=0.78

L=1248.653

L1=412.086

f2=-45.108

L1/L=0.330

-f2/L=0.036

図2に、本実施例の投影光学系の子午方向 (TANGENTIAL方向) 及び球欠方向 (SAGITTAL方向) における横収差 (コマ収差) を示す。図において、Yは像高を表わし、本実施例の投影光学系における最大像高は13.7である。図中、実線は波長193.3060nm、点線は波長193.3064nm、一点鎖線は波長193.3056nmでの収差をそれぞれ示している。収差図よりわかるように、本実施例の投影光学系は、像高0から最大像高13.7までの領域において、色収差が良好に補正されている。

(第2実施例)

図3は、本発明の第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。本実施例の投影光学系は、硝材として石英 SiO_2 及び螢石 CaF_2 を使用しており、第1面としてのレチクルRの像を第2面としてのウエハW上にテレセントリックに投影する。この投影光学系は、レチクルR側より順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1、負の屈折力を有する第2レンズ群G2、正の屈折力を有する第3レンズ群G3からなる構成となっている。第1レンズ群G1は、螢石で形成された正の屈折力を有するレンズLP21, LP22, LP23, LP24, LP25, LP26を含み、また、非球面形状のレンズ面ASP21, ASP22を含む。第3レンズ群G3は、螢石で形成されたレンズLP27, LP28, LP29, LP30, LP31を含む。開口絞りASは第3レンズ群G3中に配置されている。この投影光学系の基準波長は193.3nmである。

第2実施例にかかる投影光学系の諸元値を表3に示す。また、各非球面における非球面係数を表4に示す。非球面係数の定義は前述の式と同じである。ここで、本実施例の諸元値における曲率半径、面間隔の単位の一例としてmmを用いることができる。

[表3]

面番号	曲率半径	面間隔	硝材
		68.91	
1	∞	12.52	SiO2
2	396.770	3.00	
3	254.008	24.42	CaF2
4	-934.473	3.00	
5	-12908.162	12.00	SiO2
6	155.270	48.71	
7	-138.969	19.68	SiO2
8	-365.690	12.17	
9	-721.284	42.56	CaF2
10	-372.350	14.41	
11	8373.957	52.39	CaF2
12	-354.413	8.35	
13	1031.713	49.83	SiO2
14	-549.575	21.26	
15	249.361	64.78	CaF2
16	1823.143	3.00	
17	291.668	38.62	CaF2
18	811.496	3.72	
19	211.542	26.55	CaF2
20	282.982	3.52	
21	150.387	23.88	SiO2
22	168.182	36.14	
23	-3641.124	12.00	SiO2
24	125.009	38.28	
25	-156.902	14.19	SiO2
26	123.218	43.61	
27	-116.259	12.95	SiO2
28	1233.018	10.60	
29	-813.248	37.67	CaF2
30	-193.265	3.00	
31	-368.334	26.36	SiO2
32	-224.645	3.01	
33	1410.985	63.02	SiO2
34	-218.896	4.24	
35	INFINITY	4.18	
36	326.130	46.86	CaF2
37	-1078.234	17.43	
38	-378.423	57.18	SiO2
39	1092.919	84.29	
40	285.072	64.79	CaF2
41	-1076.165	3.15	
42	175.673	39.40	SiO2
43	389.670	3.07	
44	132.696	44.00	SiO2
45	558.221	12.33	
46	-1378.349	12.26	SiO2
47	409.951	6.01	
48	96.901	24.21	CaF2
49	164.260	11.54	
50	333.758	18.07	CaF2
51	2155.618	12.21	

[表 4]

非球面係数

2 面

K : 0.000000

A : 0.377826E-07 B : 0.183449E-11 C : -.861369E-16

D : -.310456E-20

6 面

K : 0.000000

A : -.119582E-06 B : 0.572777E-12 C : 0.258461E-16

D : -.174207E-20

26 面

K : 0.000000

A : 0.101023E-06 B : -.116323E-10 C : -.588509E-15

D : 0.298472E-19

47 面

K : 0.000000

A : 0.435107E-07 B : -.237192E-11 C : -.246845E-15

D : 0.156567E-19

条件式対応値は以下のとおりである。

S num=14, C num=11

NA=0.8

L=1323.330

L1=557.251

f2=-40.547

L1/L=0.421

-f2/L=0.031

図4に、本実施例の投影光学系の子午方向 (TANGENTIAL方向) 及び球欠方向 (SAGITAL方向) における横収差 (コマ収差) を示す。図において、Yは像高を表わし、本実施例の投影光学系における最大像高は13.7である。図中、実線は波長193.3060nm、点線は波長193.3064nm、一点鎖線は波長193.3056nmでの収差をそれぞれ示している。収差図よりわかるように、本実施例の投影光学系は、像高0から最大像高13.7の領域において、色収差が良好に補正されている。

図5は、前述の第1実施例または第2実施例の投影光学系を投影光学系PLとして適用した投影露光装置の構成図である。投影光学系PLのレチクルR面には所定の回路パターンが形成された投影原版が配置され、投影光学系PLのウエハW面には、ワークとしてのフォトリソが塗布されたウエハWが配置されている。レチクルRはレチクルステーシRS上に保持され、ウエハWはウエハステージWS上に保持されている。レチクルRの

上方には、露光光源を含み、レチクルRを均一に照明するための照明光学装置ISが配置されている。露光光源としては、ここでは、ArFレーザを用いている。

光源から供給された露光光は照明光学装置IS内の光学系（不図示）を介して、レチクルRをほぼ均一に照明する。照明光学装置IS内の光学系には、例えば露光光の照度分布を均一化するためのフライアイレンズや内面反射型インテグレート、所定のサイズ・形状の面光源を形成するオプティカルインテグレートや、レチクルR上での照明領域のサイズ・形状を規定するための可変視野絞り（レチクルブラインド）、この視野絞りの像をレチクル上へ投影する視野絞り結像光学系などの光学系が含まれていてもよい。照明されたレチクルRのパターンの像は、投影光学系PLを介して投影倍率で縮小されてウェハW上に露光され、転写される。

以上、添付図面を参照しながら本発明にかかる好適な実施形態について説明したが、本発明はかかる例に限定されないことは言うまでもない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本発明の技術的範囲に属するものと了解される。

例えば、上記例では光源としてArFレーザを用いた例を挙げて説明したが、本発明は必ずしもこれに限定するものではない。

以上、詳細に説明したように上述の各実施形態の投影光学系では、狭帯域化の進んでいないレーザ光源を使用し、また蛍石硝材を極力使用しない場合でも、設計性能を維持した上で、色収差の補正および照射変動の抑制を良好に行うことができる。また、上記実施形態の投影露光装置では、短波長の露光光源を用いて微細な回路パターンを高解像に形成することができる。